



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ PŘES ŘEKU SVRATKU V BRNĚ

PEDESTRIAN BRIDGE OVER THE SVRATKA RIVER IN BRNO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Škrabal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN KOLÁČEK, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Škrabal
Název	Lávka pro pěší přes řeku Svratku v Brně
Vedoucí práce	Ing. Jan Koláček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry

Základní normy:

ČSN 736201: Projektování mostních objektů

ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na zadaný problém zpracujte dvě až tři studie lávky pro pěší o jednom poli včetně jejich zhodnocení. Dále se zaměřte na návrh vybrané konstrukce z betonu. Pro kolmý most můžete provést úpravy v niveletě, popř. v profilu řeky včetně délky přemostění.

Dimenzování proveďte podle mezních stavů v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP zpracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je návrh lávky o jednom poli přes řeku Svratku v Brně. Pro posouzení byla ze tří variant vybrána varianta obloukové konstrukce s osově zavěšenou mostovkou na ocelovém oblouku. Jedná se o samokotevnou konstrukci, kdy je tahová síla eliminována předpětím v ose mostovky. Pro výpočet vnitřních sil byl využit program Scia Engineer 18.1, kde byly vytvořeny dva modely. Jeden prutový pro podélný směr a deskový s žebry pro příčný směr. Návrh a posudky konstrukce jsou řešeny dle aktuálně platných norem a předpisů.

KLÍČOVÁ SLOVA

lávka pro pěší, oblouková konstrukce, samokotevný systém, předpjatý beton, statické posouzení, mezní stav použitelnosti, mezní stav únosnosti

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the structural design of a one span pedestrian bridge over the Svratka River in Brno. The arch bridge with axially suspended deck on a steel arch was chosen for the assessment out of three options. It is a self-anchored structure, so that the tensile force in the deck must be eliminated by prestressing. For the calculation of internal forces the Scia Engineer 18.1 program was used. Two models were created – one for the longitudinal direction, the second one for transverse direction. Structural design was handled according to the valid standards and regulations.

KEYWORDS

pedestrian bridge, arch structure, self-anchored system, prestressed concrete, structural design, serviceability limit state, ultimate limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jan Škrabal *Lávka pro pěší přes řeku Svratku v Brně*. Brno, 2019. 25 s., 149 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Koláček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Lávka pro pěší přes řeku Svratku v Brně* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2019

Jan Škrabal
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Lávka pro pěší přes řeku Svratku v Brně* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2019

Jan Škrabal
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych především poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Janu Kolářkovi Ph.D. za ochotné vedení mé bakalářské práce, cenné rady, které mi byly přínosem a vstřícný přístup. Dále mé poděkování patří rodině, za podporu při studiu a spolužákům.

1. ÚVOD	6
2. PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ	6
3. STUDIE VARIANT	9
4. GEOMETRIE KONSTRUKCE	12
5. MODELOVÁNÍ	14
6. POMĚRNÉ ZKRÁCENÍ ZÁVĚSŮ	16
7. PŘEDPĚTÍ.....	17
8. ZATÍŽENÍ.....	18
9. POSOUZENÍ	19
10. ZÁVĚR	22
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:	23
SEZNAM PŘÍLOH:	25

1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je navrhnout několik studií lávky o jednom poli přes řeku Svratku v lokalitě Brno Bystrc. Současná konstrukce je zastaralá a nespĺňuje kapacitní ani estetické parametry. Nová konstrukce by mimo nezbytných požadavků na spolehlivost překonat překážku měla být svým vzhledem nadčasová a respektovat své okolí. Neméně důležitým aspektem je finanční nákladnost výsledného díla, popřípadě veřejná poptávka.

Jsou vypracovány 3 varianty návrhu přemostění, následně je jedna z nich vybrána a zpracována v podrobnějším rozsahu. Konstrukce je pak posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti, dále je zpracována v omezeném rozsahu výkresová dokumentace a provedena vizualizace.

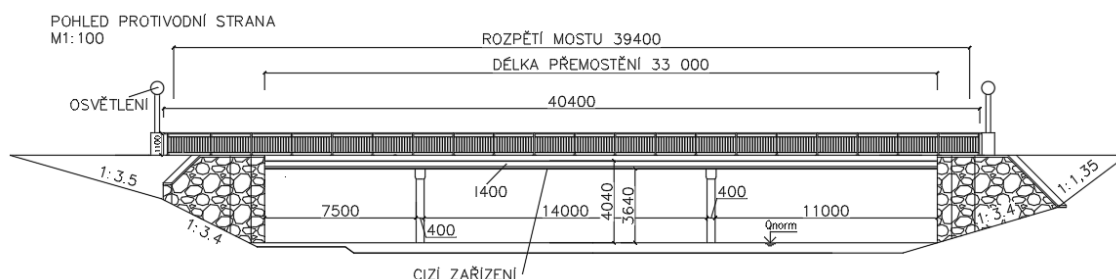
2. PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Za přítomnosti a pomoci vedoucího práce byla současná lávka místním šetřením orientačně poměřena a byla vytvořena přibližná situace.

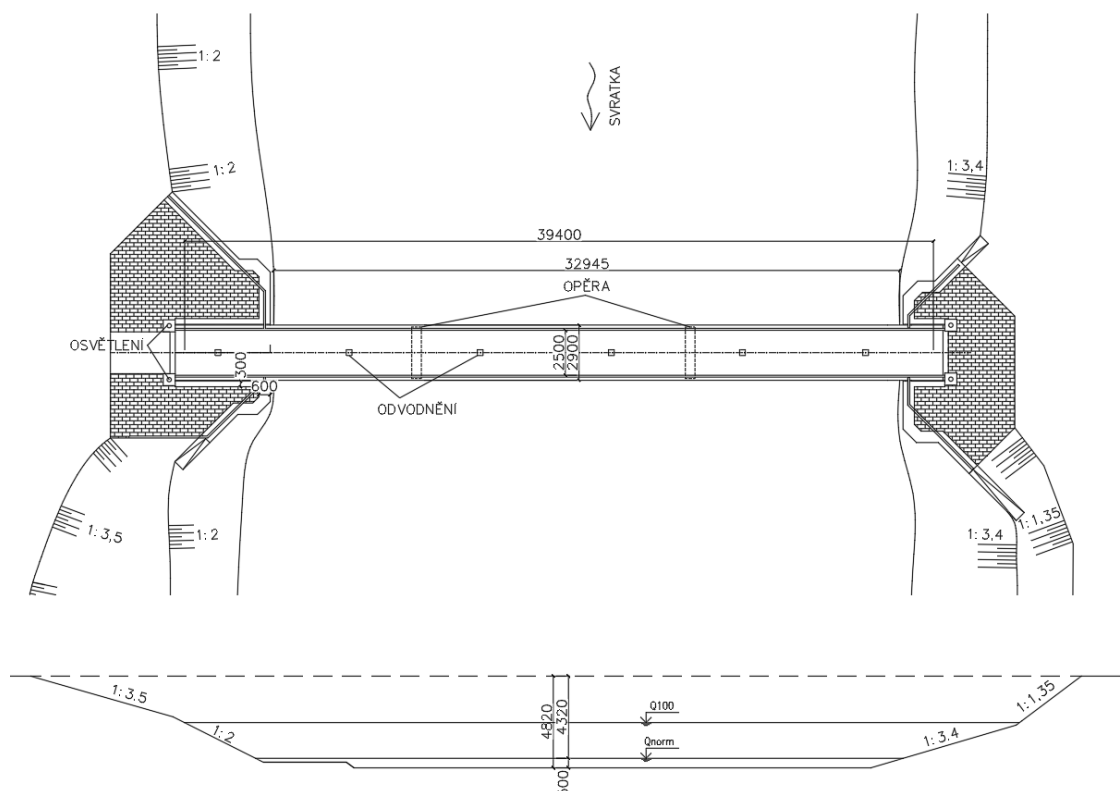
Stávající konstrukce je spojitý nosník o 3 polích s masivními opěrami. Mezilehlé podpěry jsou členěné sestávající se ze dvou sloupů spojených příčlím. Jedná se o spřaženou konstrukci, kde hlavním nosným prvkem jsou 2 ocelové profily I400, které jsou spřaženy s betonovou deskou tl. 280 mm. Konstrukce působí nesourodě – mezilehlé podpěry jsou uspořádány nesouměrně, na jednom poli je u I profilu patrné nýtování na přírubách, zatímco na ostatních polích tomu tak není. Šířka průchozího profilu je 2,5m.

Odvodnění je provedeno uprostřed příčného řezu přímo do řeky. Záchytný systém je tvořen ocelovým zábradlím. Po obou stranách mostovky lze vidět různá cizí zařízení, která podtrhují celkový estetický vzhled.

Kritériem pro návrh nosné konstrukce lávky byl požadavek, aby se jednalo o konstrukci o jednom poli – tj. aby spodní stavba pokud možno nezasahovala do průtočného profilu.



Obrázek 1: Boční pohled na stávající stav - protivodní strana



Obrázek 2: Situace, předpokládaný profil terénu

Pro vizuální představu stávajícího stavu bylo pořízeno několik fotografií:



Obrázek 3: Pohled z levého břehu



Obrázek 4: Detail uložení



Obrázek 5: Pohled z pravobřežní opěry

3. STUDIE VARIANT

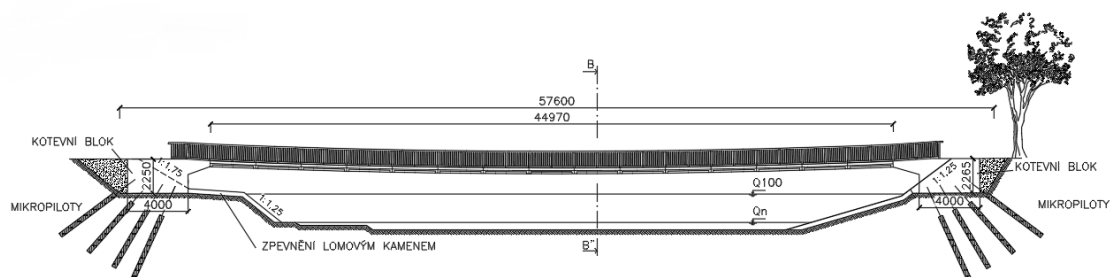
Byly zpracovány 3 studie návrhu přemostění:

- VARIANTA A: PŘEDPJATÝ PÁS
- VARIANTA B: OBLOUKOVÁ KONSTRUKCE
- VARIANTA C: RÁMOVÁ KONSTRUKCE

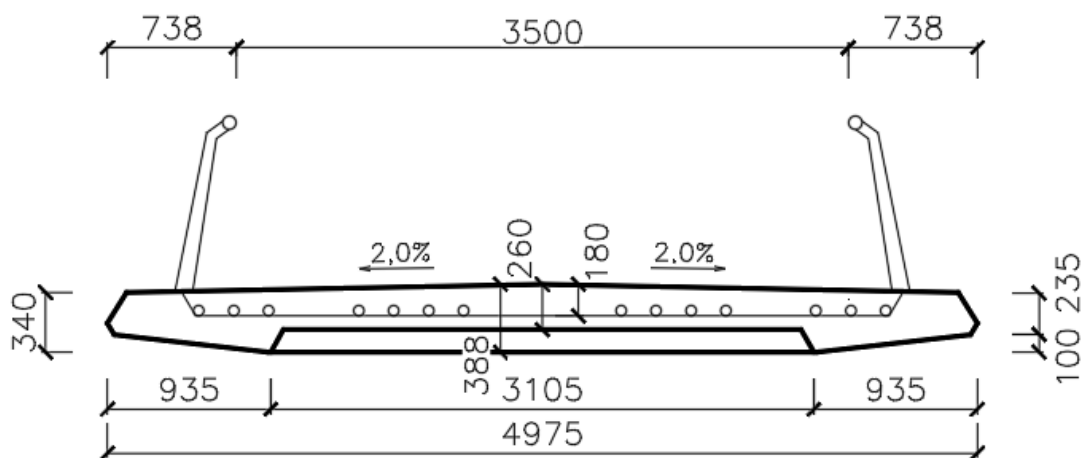
VARIANTA A

Lávka je navržena jako předpjatý betonový pás o délce mostu $L=57,60$ m, délka přemostění je $l=44,97$ m. Mostovka se skládá ze segmentů, které jsou během výstavby zavěšeny na krajních nosných lanech a slouží jako bednění pro následné vybetonování spřažené desky. Deska se segmenty jsou poté dodatečně předepnuty. Vzepětí paraboly předpjatého pásu $f = 0,457m \approx 0,01L$ vyhoví bezpečně požadavkům na kritérium pro maximální podélný sklon. Pás je uchycen v betonových blocích, jež jsou zakotveny pomocí mikropilot do vhodné základové půdy.

Šířka mostovky je 4,975m, volná šířka pak 3,5m. Příčný sklon je střechovitý 2,0%. Výška mostovky je v místě bez ztužení 260mm



Obrázek 6: Podélný řez variantou A



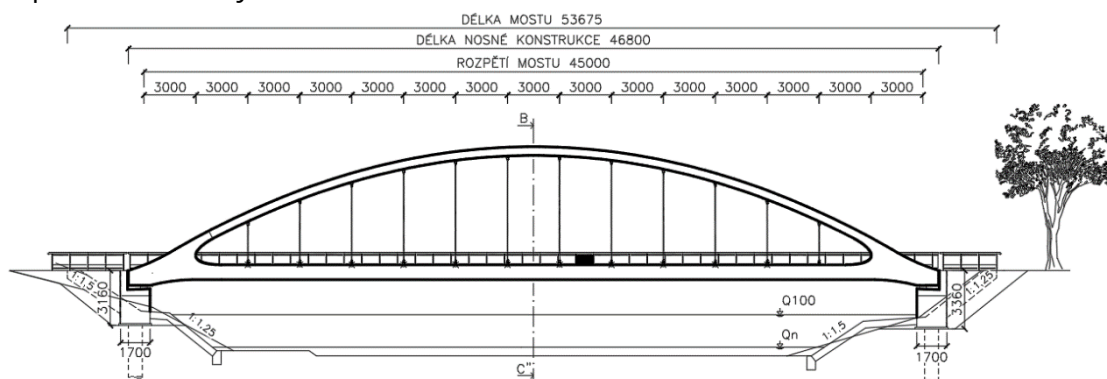
Obrázek 7: Příčný řez variantou A

VARIANTA B

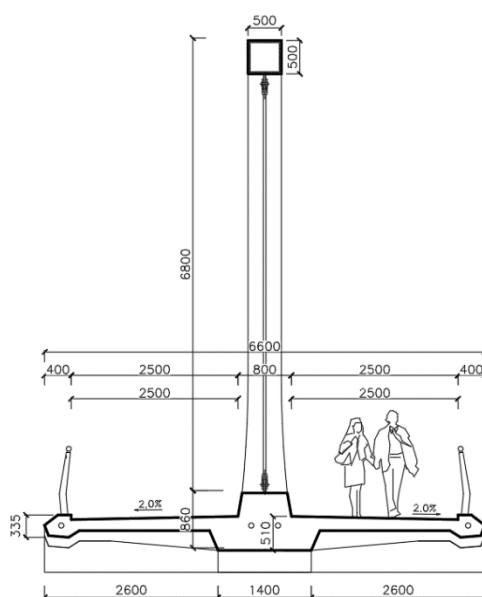
V tomto případě je lávka navržena jako obloukový most s dolní mostovkou, kdy je mostovka zavěšena pomocí ocelových táhel na ocelový oblouk. Délka mostu je 53,68 m, délka přemostění $l=44,29$ m. Z konstrukčního hlediska se jedná o Langrův trám, kdy je ocelový oblouk vetknut do mostovky a ta je namáhána tahovou silou. Konstrukce tvoří tzv. samokotevný systém a základová půda je namáhána pouze svislými reakcemi. Tahová síla v mostovce bude eliminována pomocí centricky vedených předpínacích kabelů.

Mostovka je zavěšena v ose mostu po 3m, v místě závěsů je ztužení konzolovitě vyloženými žebry. Celková šířka příčného řezu činí 6,6m. Osově zavěšená konstrukce tedy poskytuje nadstandardní průchozí kapacitu 2x2,5m.

Odvodnění je zajištěno příčným sklonem 2,0%, podélný sklon je pro zjednodušení uvažován 0%, v ideálním případě by byl zajištěn parabolickým vzepětím mostovky.



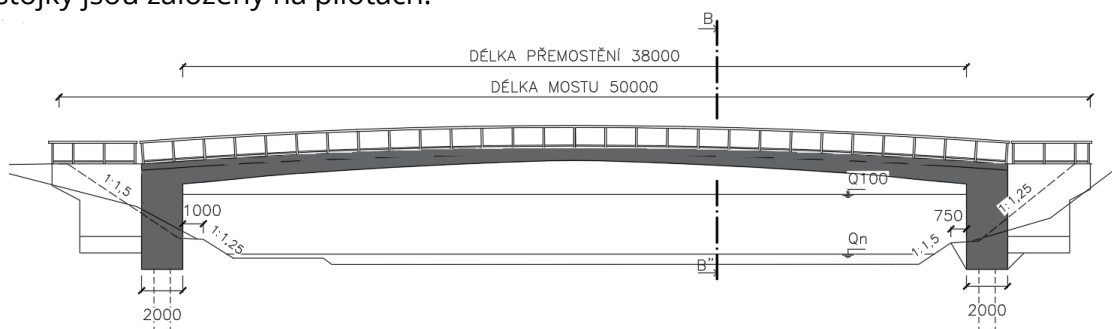
Obrázek 8: Podélný řez variantou B



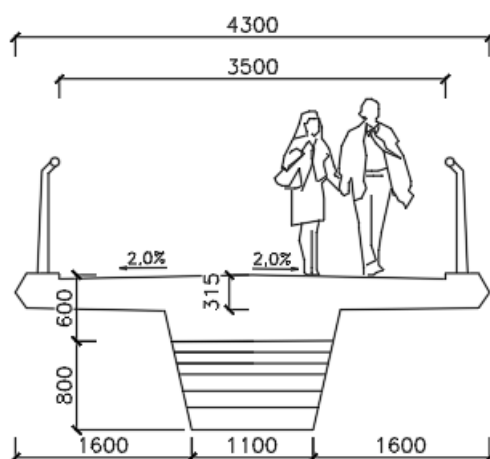
Obrázek 9: Příčný řez variantou B

VARIANTA C

V této variantě je uvažováno s rámovou konstrukcí s náběhovaným páteřním nosníkem, ze kterého je vyložen zbytek mostovky. Konstrukce je předpjatá. Volná šířka je opět 3,5m, celková šířka příčného řezu je pak 4,3m. Odvodnění je zajištěno jak příčným sklonem 2%, tak podélně díky obloukovému tvaru mostovky. Rámové stojky jsou založeny na pilotách.



Obrázek 10: podélný řez variantou C



Obrázek 11: Příčný řez variantou C

ZHODNOCENÍ VARIANT

Každá z výše uvedených variant má různé konstrukční řešení, u každé z nich lze nalézt klady a zápory.

První varianta vyniká díky využití prefabrikace a konstrukčního systému předpjatého pásu jako velmi vhodná pro využití nad řekami nebo údolími, jelikož segmenty nesené lany tvoří samy o sobě skruž pro následné vybetonování monolitické desky. Navíc je konstrukce velmi subtilní.

Druhá varianta osově zavěšené monolitické mostovky umožňuje větší volný prostor než zbylé alternativy. Navíc je oblouková konstrukce přes řeku z hlediska estetiky považována za krásnou a oblouk tvoří dominantní prvek v okolí. Nevýhodou oproti předchozí variantě je náročnější výstavba. Naproti tomu díky samokotevnému systému působí na základovou půdu pouze svislé síly, obecně jsou tedy kladeny nižší nároky na založení.

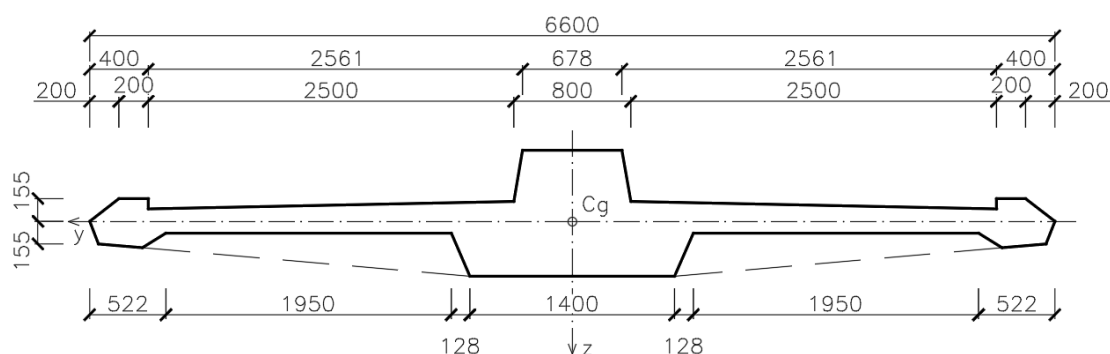
Třetí varianta jako náběhovaná konstrukce působí ladně a zapadá do krajiny, jako hlavní nevýhoda je v tomto případě nutnost rozsáhlejších terénních úprav a poměrně masivní spodní stavba, což je asi hlavní nevýhoda v porovnání s předešlými variantami.

Pro další zpracování bakalářské práce jsem vybral variantu B. Z hlediska lokality a blízkosti Zoo Brno dokáže v exponovaných časech pojmout větší množství chodců, navíc v okolí chybí dominantní prvek, Oproti variantě C nevyžaduje rozsáhlejší terénní úpravy a v porovnání s variantou A je sice náročnější na výstavbu, nicméně nároky na základovou půdu jsou odlišné. Ekonomické aspekty nejsou v rámci úvahy zohledněny.

4. GEOMETRIE KONSTRUKCE

MOSTOVKA

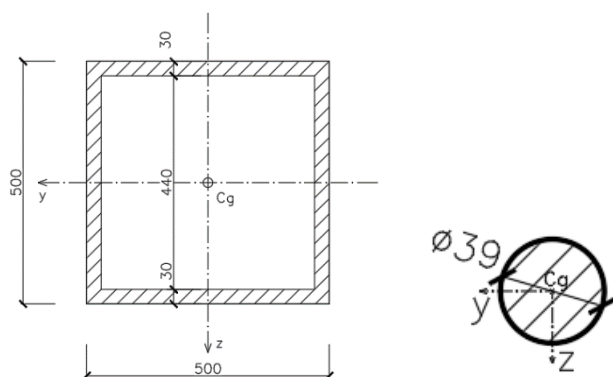
Geometrie betonové mostovky z betonu C40/50 byla určena návrhem příčného řezu. Podélný sklon byl pro zjednodušení uvažován 0%. Konstrukce jako celek byla zasazena do terénu tak, aby byly minimalizovány terénní úpravy.



Obrázek 12: Geometrie mostovky

OBLOUK

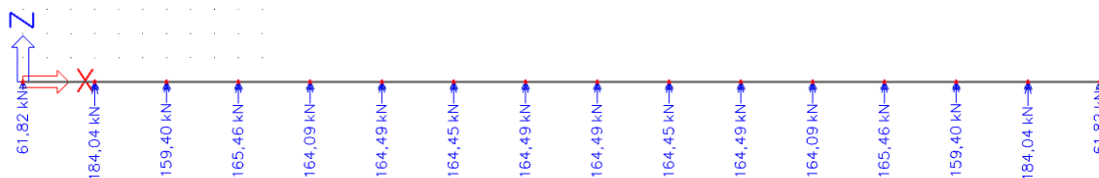
Oblouk byl zvolen jako ocelový tenkostěnný profil S355, jako táhla jsou použita konstrukční táhla Macalloy S460 z nerezové oceli.



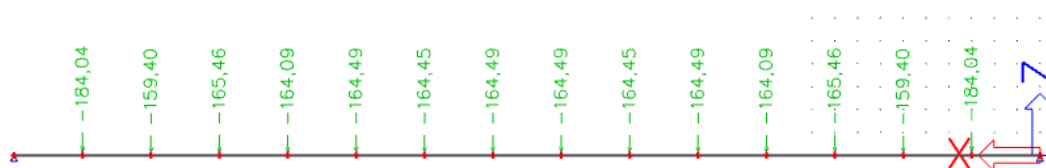
Obrázek 13: Průřez oblouku, táhla

URČENÍ TVARU OBLOUKU

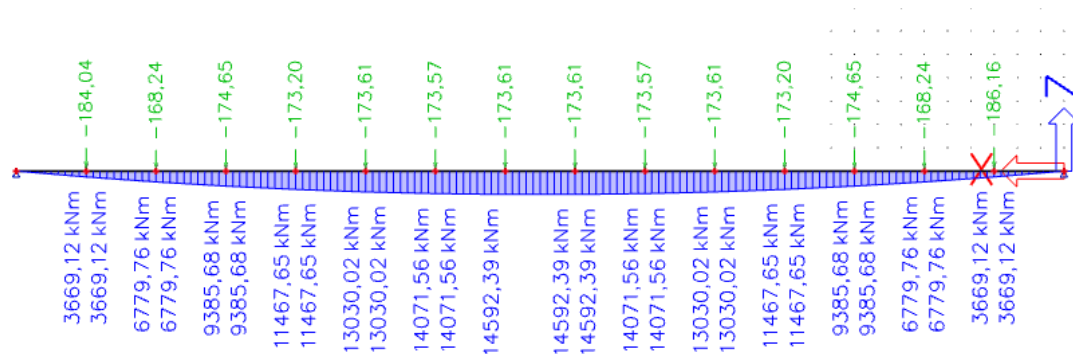
Oblouk by měl mít takový tvar, aby ohybové momenty od stálého zatížení byly ideálně nulové, resp. co nejmenší. Toho se docílí tak, že nosník zatížíme stálým zatížením a průběh ohybového momentu bude obráceným tvarem oblouku.



Obrázek 14: Reakce od stálého zatížení na spojitěm nosníku



Obrázek 15: Zatížení reakcemi



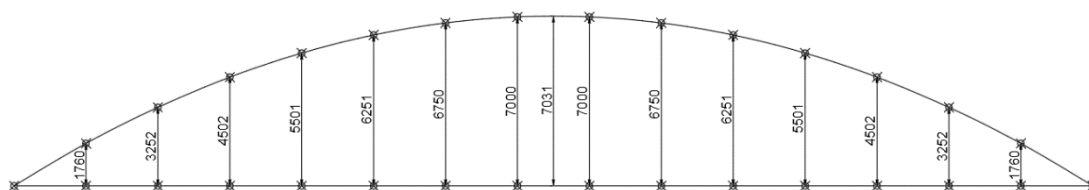
Obrázek 16: Průběh momentů od zatížení reakcemi

Pro oblouk bylo navrženo vzepětí oblouku $f_{max} = 7,0m$, v tabulce jsou uvedeny hodnoty pořadnic – platí $z(x) = M(x) \cdot \frac{f_{max}}{M_{max}}$

x [m]	M[kNm]	z[m]	x [m]	M[kNm]	z[m]
3	3669,1	1,760	24	14592,4	7,000
6	6779,8	3,252	27	14071,6	6,750
9	9385,7	4,502	30	13030,0	6,251
12	11467,7	5,501	33	11467,7	5,501
15	13030,0	6,251	36	9385,7	4,502
18	14071,6	6,750	39	6779,8	3,252
21	14592,4	7,000	42	3669,1	1,760

Tabulka 1: Souřadnice pořadnic oblouku $z(x)$

V programu Autocad byly vyneseny pořadnice $z(x)$ a body spojeny křivkou spline, která aproximovala vzniklý polygon. Poté bylo změřeno maximální vzepětí oblouku



Obrázek 17: Aproximace pomocí spline

Jak je z obrázku patrné, i bez aproximace by se jednalo o křivku připomínající parabolu 2°, což je způsobeno převládajícím rovnoměrným zatížením, vliv bodového zatížení žebra, popřípadě táhla není významný. Křivka se dá tedy aproximovat parabolou 2° o vzepětí $f = 7,031m$

$$z(x) = -\frac{4f}{L^2}x^2 + \frac{4f - e}{L}x$$

$$e = e_b - e_a = 0m$$

$$L = 45,0 m$$

$$f = 7,031m$$

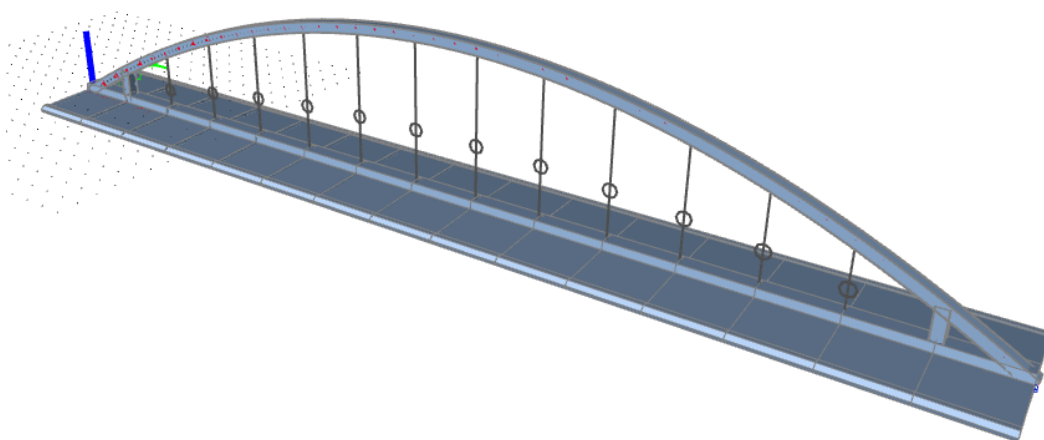
x	z(x)	x	z(x)	x	z(x)	x	z(x)	x	z(x)
0	0,000	11	5,194	22	7,028	33	5,500	44	0,611
1	0,611	12	5,500	23	7,028	34	5,194	45	0,000
2	1,194	13	5,778	24	7,000	35	4,861		
3	1,750	14	6,028	25	6,944	36	4,500		
4	2,278	15	6,250	26	6,861	37	4,111		
5	2,778	16	6,444	27	6,750	38	3,694		
6	3,250	17	6,611	28	6,611	39	3,250		
7	3,694	18	6,750	29	6,444	40	2,778		
8	4,111	19	6,861	30	6,250	41	2,278		
9	4,500	20	6,944	31	6,028	42	1,750		
10	4,861	21	7,000	32	5,778	43	1,194		

Tabulka 2: Souřadnice uzlů oblouku

5. MODELOVÁNÍ

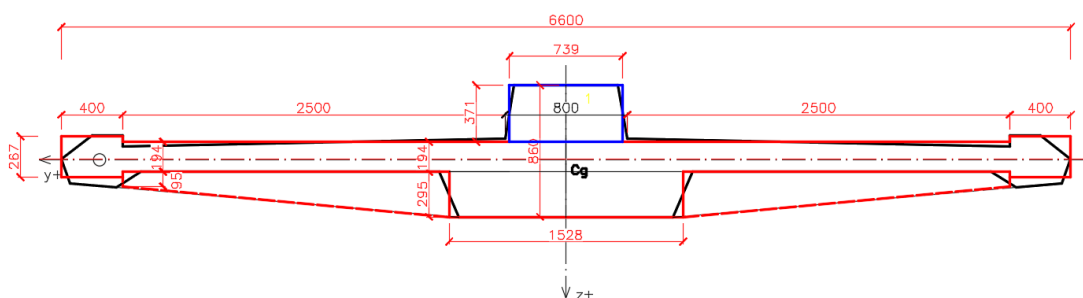
PODÉLNÝ SMĚR

Konstrukce je v podélném směru modelována jako prutový model v prostoru (pro možnost zadání zatížení větrem). Jednotlivé prvky jsou tvořeny 1D dílci, jimž je přiřazen příslušný průřez. U táhel bylo nutné pro správné fungování v nastavení určit FEM typ – pouze osově síly. Obě krajní táhla budou reálně nahrazena ocelovým dílcem pro spojení oblouku s mostovkou – pro zohlednění zvýšené tuhosti jim byl tedy přiřazen průřez oblouku a FEM typ standard. Geometrie oblouku byla naimportována z programu Autocad 2018. Oblouk tvoří polygon, který má vrcholy v bodech paraboly dle tabulky 1. Napojení oblouku na mostovku se uvažuje rámově - tedy s vlivem ohybových momentů ve styku s mostovkou.



Obrázek 18: Prutový model

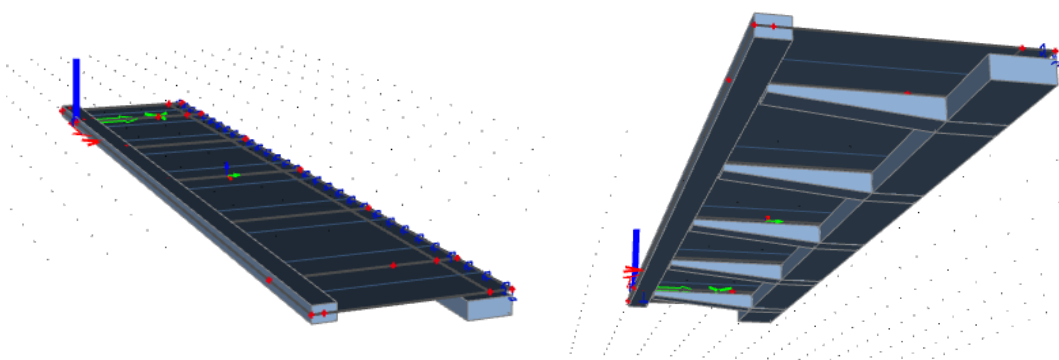
PŘÍČNÝ SMĚR



Obrázek 19: Zjednodušení průřezu

Pro posouzení desky a žebra byl vytvořen deskový model s žebry. Snahou bylo co nejvíce zachovat plochu průřezu a tedy i hmotnost vlastní konstrukce, (modrý obdélník lze nahradit zatížením) a dále skutečnou šířku. Jelikož je mostovka zavěšena v ose mostu, jsou žebro s mostovkou konzolovitě vyloženy.

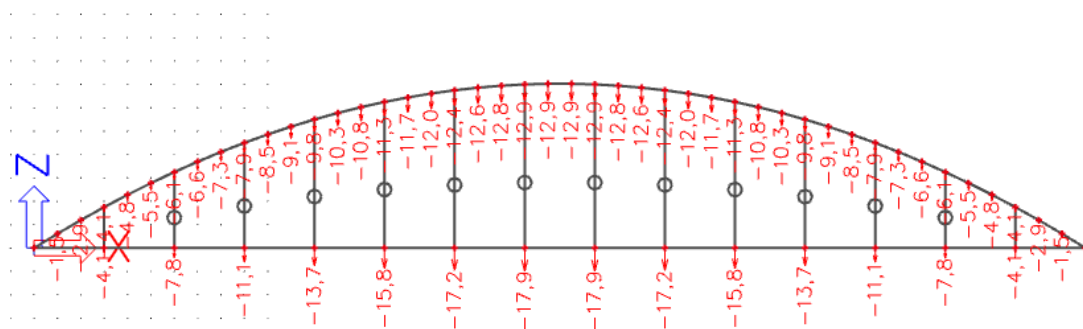
Pro dimenzování na stranu bezpečnou postačí vymodelovat polovinu mostovky, jež bude vetknutá a zatížena max. návrhovou hodnotou zatížení.



Obrázek 20: Perspektiva na deskový model

6. POMĚRNÉ ZKRÁCENÍ ZÁVĚSŮ

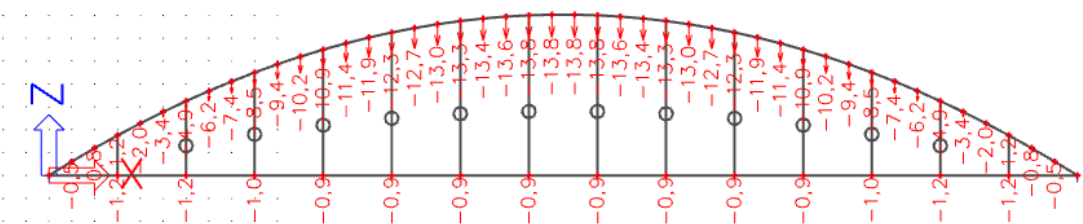
Z fyzikální podstaty materiálu dochází působením síly k přetváření. Při zatížení od stálého zatížení se závěsy protáhnou a mostovka se prohne. Povolněním závěsů jakožto podpor dojde ke zvětšení ohybových momentů. Tento nepříznivý jev lze eliminovat zkrácením závěsů o jejich protažení v důsledku stálého zatížení.



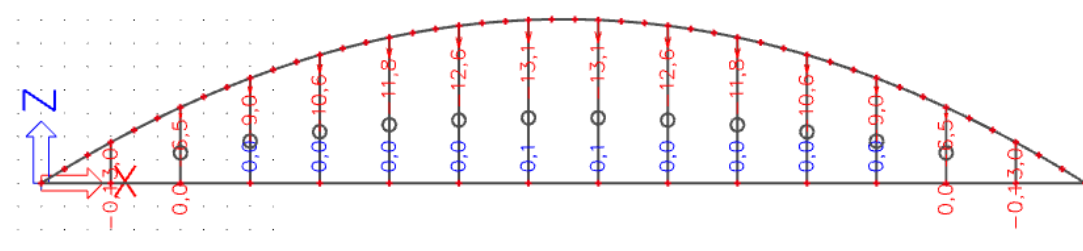
Obrázek 21: průhyb uzlů od stálého zatížení

Využitím Hookova zákona lze iteračně dojít ke konečné hodnotě zkrácení závěsů

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{N}{E \cdot A}$$

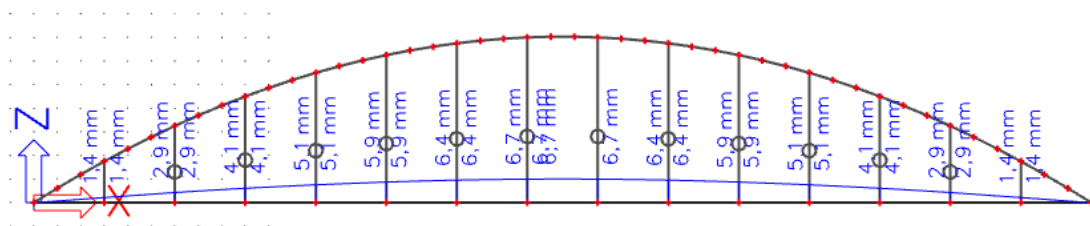


Obrázek 22: Průhyb uzlů po 1. rektifikaci

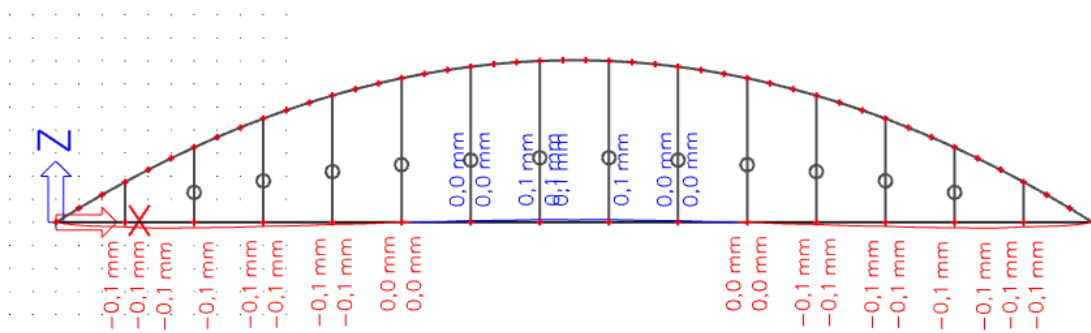


Obrázek 23: Průhyb uzlů po 7. rektifikaci

Vnesením předpětí dojde k narušení rovnováhy a je nutno postup opakovat

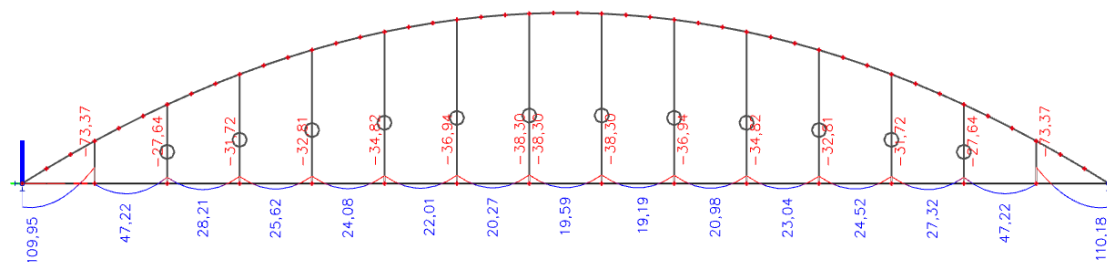


Obrázek 24: Průhyb mostovky po vnesení předpětí

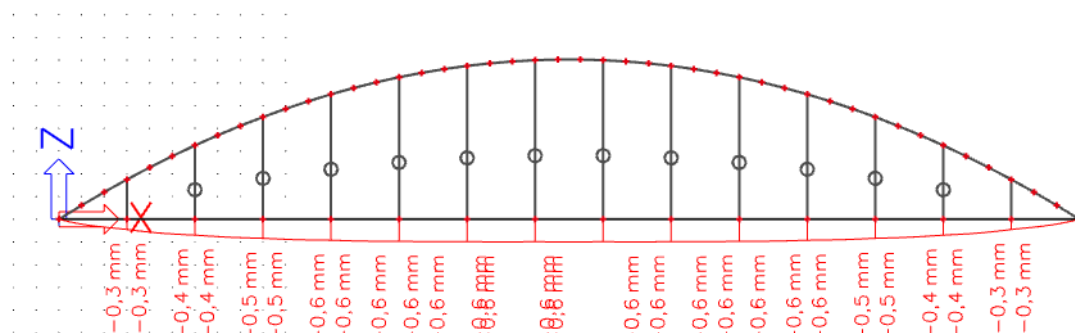


Obrázek 25: Průhyb mostovky po finální rektifikaci v čase t_0

Po finálním zkrácení by měl průběh momentů odpovídat průběhu jako na spojitém nosníku.



Obrázek 26: Průběh M po finální rektifikaci od vlastní tíhy



Obrázek 27: Průhyb mostovky v čase t_{00}

7. PŘEDPĚTÍ

Pro eliminaci tahové síly v mostovce je nutné mostovku předepnout. Byly navrženy 4 kabely po 12 lanech o celkové předpínací síle

$$P_{k0,prov} = A_{p,prov} \cdot \sigma_{pm0} = 6720 \cdot 1328,4 = 8926,8 \text{ kN}$$

$$P_{k\infty,prov} = A_{p,prov} \cdot \sigma_{pm\infty} = 6720 \cdot 1195,6 = 8034,4 \text{ kN}$$

Krátkodobé a dlouhodobé ztráty byly ve výpočtu uvažovány odhadem – a to 10% krátkodobé ztráty, 10% dlouhodobé ztráty.

Pro ověření správnosti odhadu by se měly ztráty stanovit výpočtem, což ve statickém výpočtu není provedeno.

Pro krátkodobé ztráty by se jednalo o ztrátu

- třením:

$$\Delta\sigma_{p\mu} = -\Delta\sigma_{pmax} \cdot (1 - e^{-\mu(\theta+kx)})$$

- pokluzem

$$\Delta\sigma_{psl} \leftrightarrow A_{\delta}$$

- postupným napínáním

$$\Delta\sigma_{p,el} = E_p \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_c \cdot \gamma}{E_{cm}} \right]$$

- relaxací

$$\Delta\sigma_{p,r} = k_r \cdot \sigma_{p,r}$$

Pro dlouhodobé ztráty je to:

- ztráta smršťováním betonu

$$\Delta\sigma_{p,s} = \varepsilon_{c,s(t,t1)} \cdot E_p$$

- ztráta dotvarováním betonu

$$\Delta\sigma_{p,c} = \varepsilon_{cc} \cdot E_p$$

- ztráta relaxací

$$\Delta\sigma_{p,c} = k_r \cdot \sigma_{p,r}$$

8. ZATÍŽENÍ

Je uvažováno celkem 11 zatěžovacích stavů:

STÁLÁ ZATÍŽENÍ

ZS1 – VLASTNÍ TÍHA

Je počítána automaticky softwarem na základě průřezových a materiálových charakteristik. Software počítá s tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, objemovou hmotností betonu $\gamma_{concrete} = 2500 \text{ kg/m}^3$ a objemovou hmotností oceli $\gamma_{steel} = 7800 \text{ kg/m}^3$

ZS2 – OSTATNÍ STÁLÁ ZATÍŽNÍ

Je uvažována tíha zábradlí 0,5 kN/m po celé délce lávky.

$$g_{1k} = 2 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ kN/m}$$

Dále je uvažováno zatížení žeber jako bodové zatížení v místech závěsů

$$G_{1k} = A \cdot \gamma_{concrete} \cdot g \cdot 0,4 = 832763 \cdot 10^{-6} \cdot 2500 \cdot 9,81 \cdot 0,4 = 8,17 \text{ kN}$$

Hmotnost přímopochozí hydroizolační stěrky je zanedbána

ZS3 – POMĚRNÉ ZKRÁCENÍ ZÁVĚSŮ

Bylo určeno finální zkrácení $\varepsilon = 1,67 \text{ mm/m}$

ZS4 – PŘEDPĚTÍ

$$P_{k0} = -8926,8 \text{ kN}$$

$$P_{k\infty} = -8034,4 \text{ kN}$$

PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

Pro zjednodušení není uvažováno s obslužným vozidlem

Model zatížení LM4 ($q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$) není požadován, uvažuje se tedy zatížení podle vztahu:

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L + 30} \quad , \text{ kde } L \text{ je zatěžovací délka}$$

ZS5 – CHODCI NA CELÉ MOSTOVCE

$$q_{fk} = 18 \text{ kN/m}$$

ZS6 – CHODCI NA LEVÉ POLOVINĚ

$$q_{fk} = 21,5 \text{ kN/m}$$

ZS7 – CHODCI NA PRAVÉ POLOVINĚ

$$q_{fk} = 21,5 \text{ kN/m}$$

ZS8 – CHODCI NA POLOVINĚ ROZPĚTÍ UPROSTŘED LÁVKY

$$q_{fk} = 21,5 \text{ kN/m}$$

Je uvažováno zatížení rovnoměrnou složkou teploty

ZS9 – ROVNOMĚRNÉ OTEPLENÍ KONSTRUKCE

$$\Delta T_{exp} = 31,5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{exp} = 46,0^\circ\text{C}$$

ZS10 – ROVNOMĚRNÉ OCHLAZENÍ KONSTRUKCE

$$\Delta T_{con} = 32,0^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{con} = 43,0^\circ\text{C}$$

ZS11 – ZATÍŽENÍ VĚTREM

Je uvažováno zatížení větrem v příčném směru

$$F_w = 0,671 \text{ kN/m}$$

9. POSOUZENÍ

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI - SLS

charakteristická kombinace: $\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k1} + \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

častá kombinace: $\Sigma G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k1} + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

častá kombinace: $\Sigma G_{k,j} + P + \psi_{2,1} \cdot Q_{k1} + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - ULS

$$6.10a: \quad \Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$6.10b: \quad \Sigma \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

ZATÍŽENÍ	OZNAČENÍ	ψ_0	ψ_1	ψ_2
dopravou	g_{r1}	0,4	0,4	0
větre	F_w	0,3	0,2	0
teplotou	T_k	0,6	0,6	0,5

SOUČINITEL	HODNOTA
ξ	0,85
γ_G	1,35
γ_Q	1,35
γ_P	1,0

Tabulka 3: Součinitelé pro ULS

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Kombinace jsou uvažovány s hlavním proměnným zatížením od chodců. Vzhledem k symetrické konstrukci bude zatížení ZS6 A ZS7 vyvozovat hodnotově stejné výsledky

OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU:

charakteristická kombinace:

$$\sigma_2 \geq -0,6f_{ck}$$

čas t_0 :

$$\sigma_2 = -4,25 \text{ MPa} \geq -24 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

čas t_{00} :

$$\sigma_2 = -8,38 \text{ MPa} \geq -24 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

kvazistálá kombinace:

$$\sigma_2 \geq -0,45f_{ck}$$

$$-4,11 \text{ MPa} \geq -18 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

častá kombinace

$$\sigma_1 \leq f_{ctm}$$

$$-0,34 \text{ MPa} \leq 3,5 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

omezení napětí v předpínací výztuži

$$\sigma_{pm0} \leq 0,75 \cdot f_{pk}$$

$$1328,4 \text{ MPa} \leq 1395 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

omezení napětí v závěsech

$$\sigma_{zav} \leq 0,45 \cdot f_{yk}$$
$$145,9 \text{ MPa} \leq 207 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

omezení trhlin

$$\sigma_{1,max} \leq f_{ct,eff}$$
$$2,60 \text{ MPa} \leq 3,5 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

podélný směr

KLADNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$
$$959,10 \text{ kNm} \leq 1746,4 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$|M_{Ed}| \leq M_{Rd}$$
$$|-853,8| \text{ kNm} \leq 1683,6 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

SMYK – OBLAST BEZ TRHLIN

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$
$$268,7 \leq 2040,2 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

SMYK – OBLAST S TRHLINAMI

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$
$$200,6 \text{ kN} \leq 413,02 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

PŘÍČNÝ SMĚR

ŽEBRO

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$
$$173,5 \text{ kNm} \leq 185,2 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

DESKA

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$
$$21,0 \text{ kNm} \leq 28,99 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

TÁHLO

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1,0$$
$$0,51 \leq 1,00$$

→ VYHOVUJE

OBLOUK

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{\gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{\gamma_{M1}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$0,25 + 0,03 + 0,04 = 0,32 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$0,68 + 0,03 + 0,04 = 0,75 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

10. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout 2-3 studie přemostění lávky pro pěší o jednom poli přes řeku Svratku a vybranou variantu posoudit. Byly navrženy 3 varianty přemostění, které byly zhodnoceny a z nichž byla vybrána varianta B – oblouková konstrukce jako Langrův trám s osově zavěšenou mostovkou. Důležitým krokem bylo poměrné zkrácení závěsů a navržení předpětí, ztráty byly odhadnuty. Konstrukce byla posouzena nejprve na mezní stav použitelnosti a následně na mezní stav únosnosti. Na oba mezní stavy průřez vyhověl. Posouzení bylo provedeno ve stejném rozsahu pro táhlo. Průřez oblouku byl posouzen na interakci vzpěru a momentu. Výpočetní model byl vytvořen ve studentské verzi programu Scia Engineer 18.1, dále bylo využito softwaru Microsoft excel a Autocad 2018.

V rámci práce není řešena záležitost detailu napojení ocelového oblouku na mostovku, popřípadě posouzení kotvení táhel. Konstrukci by bylo dále třeba posoudit na kroucení a provést dynamickou analýzu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

- [1] ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Praha: ČNI, 2004
- [2] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [3] NEČAS, Radim, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. *BL12 - Betonové mosty I: zásady navrhování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4979-4.
- [4] Post-Tensioning solutions EN [online]. In: . [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/brozury/>
- [5] STRÁSKÝ, Jiří. *Betonové mosty*. Praha: Šel, 2001, 103 s. : il. ISBN 80-86426-05-X
- [6] STRÁSKÝ, Jiří. *Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges*. London: Thomas Telford, 2005, viii, 232 s. : il. ISBN 07277-3282-X.
- [7] Tension systems [online]. In: . [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.tension.cz/www/media/files/pdf-k-pripojeni_12/macalloy-systemkonstrukcnich-tahel_57.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: Boční pohled na stávající stav - protivodní strana	6
Obrázek 2: Situace, předpokládaný profil terénu	7
Obrázek 3: Pohled z levého břehu	7
Obrázek 4: Detail uložení.....	8
Obrázek 5: Pohled z pravobřežní opěry	8
Obrázek 6: Podélný řez variantou A.....	9
Obrázek 7: Příčný řez variantou A	9
Obrázek 8: Podélný řez variantou B.....	10
Obrázek 9: Příčný řez variantou B	10
Obrázek 10: podélný řez variantou C	11
Obrázek 11: Příčný řez variantou C	11
Obrázek 12: Geometrie mostovky.....	12
Obrázek 13: Průřez oblouku, táhla.....	12
Obrázek 14: Reakce od stálého zatížení na spojitém nosníku	13
Obrázek 15: Zatížení reakcemi.....	13
Obrázek 16: Průběh momentů od zatížení reakcemi	13
Obrázek 17: Aproximace pomocí spline.....	14
Obrázek 18: Prutový model.....	15
Obrázek 19: Zjednodušení průřezu	15
Obrázek 20: Perspektiva na deskový model	15
Obrázek 21: průhyb uzlů od stálého zatížení	16
Obrázek 22: Průhyb uzlů po 1. rektifikaci	16
Obrázek 23: Průhyb uzlů po 7. rektifikaci	16
Obrázek 24: Průhyb mostovky po vnesení předpětí	17
Obrázek 25: Průhyb mostovky po finální rektifikaci v čase t_0	17
Obrázek 26: Průběh M po finální rektifikaci od vlastní tíhy	17
Obrázek 27: Průhyb mostovky v čase t_{00}	17

SEZNAM PŘÍLOH:

- P1: VARIANTY A POUŽITÉ PODKLADY
P_01 PODKLADY
P_02 VARIANTA A
P_03 VARIANTA B
P_04 VARIANTA C
P_05 VIZUALIZACE
- P2: PŘEHLEDNÉ A PODROBNÉ VÝKRESY ZVOLENÉ VARIANTY
P_01 SITUACE
P_02 PODÉLNÝ ŘEZ
P_03 PŘÍČNÉ ŘEZY
P_04 DETAIL KOTVENÍ
P_05 VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE
P_06 VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE
- P3: STATICKÝ VÝPOČET